

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫二：高層建築之設計風載重專家系統(III)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-032-022-

執行期間：93 年 08 月 01 日至 94 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：王人牧

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 25 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

結構之風力載重及受風反應研究(III)—子計畫二

高層建築之設計風載重專家系統(3/3)

A Design Wind Load Expert System for Tall Buildings

計畫編號：93-2211-E-032-022

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：王人牧 私立淡江大學土木工程學系

一、中文摘要

案例式推理是人類推理思考過程中常用的解題策略，也就是利用先前處理類似情況的經驗來協助解決所面臨的新問題。傳統的專家系統多根據其相關知識整理出經驗法則，而以法則式推理進行系統之運作。然而對於高層建築風載重的分析，往往需要先建立建物的模型經過風洞實驗才能評估設計風載重，但是每次都要經過此一步驟耗時費力，若是能以類比式思考方式進行設計風載重分析，則可達到事半功倍的效果。藉由案例式推理的優點來彌補傳統專家系統的不足，更進一步的將它利用到風載重計算的領域裏，利用案例式推理的觀念與技巧輔助結構工程師完成設計風載重的初步分析。系統架構是透過主從式網路環境執行，使用者介面主要是以 JSP 技術建立於瀏覽器上，加上建置於 IIS 伺服端的案例庫與推論引擎選出適當的案例，配合修正因子利用 Fortran 寫出的程式計算出設計風載重，最後將結果透過繪圖軟體產生風力頻譜與載重分布。九十三年度完成三年期計畫最後一年之工作。

關鍵詞：專家系統、案例式推理、結構風工程、風洞試驗、案例庫、知識庫、全球資訊網、Java Server Page

Abstract

Case-based reasoning is a problem-solving strategy that human use frequently. That is to say people use previous and similar experiences to solve new problems. Traditional expert systems

typically use rule-based reasoning base on production rules generalized from domain related heuristics to deduce solutions. Wind tunnel experiments of scaled-down building models are usually conducted when we analyze the design wind load of tall buildings. However, the process is usually time-consuming and laborious. This research developed a design wind load expert system for tall buildings using case-based reasoning concept to assist structural engineers to analyze building design wind loads at the preliminary design stage. The user interface is built on Internet browsers using mostly JSP, and the case library and case-based inference engine are on an IIS server. Similar cases can be retrieved, and design wind loads are revised using correction factors calculated by numerical programs written in Fortran. In addition, web-charting software is used to plot figures of wind spectra and loading distributions. It is a three-year project. This report presents its final results.

Keywords: Expert Systems, Cased-Based Reasoning, Structural Wind Engineering, Wind Tunnel Experiments, Case Base, Knowledge Base, WWW, Java Server Page

二、系統架構

本研究高層建築設計風載重專家系統在整體架構上可分為四個部份：案例式推論引擎、使用者介面、繪圖元件、案例改編四個部份。使用者透過引導式之圖形化介面輸入風載重評估之相關資料後，到案

例式推論引擎去擷取相似度較高的案例，案例式推論引擎主要是由案例擷取模組和德國 TECINNO 公司的 CBR-Works [1] 組成，若將 CBR-Works 再細分的話，可分為 CQL-Connect、案例庫、CBR-Works 推論機制。案例搜尋模組將根據各種屬性的權重、比對方式到案例庫進行收尋適合案例的工作，根據相似性的計算，找到適合的案例之後可以進入案例改編部份根據修正程式進行分析，並將分析的結果如風力係數、順風向頻譜、橫風向頻譜、順風向及橫風向的風載重，經由檔案轉換模組，透過繪圖元件 WebCharts 3D [2]，將圖形與數值同時顯示在視窗介面上，讓使用者可以配合數值參考圖形，更可以了解數值在不同狀態下的變化情形。

三、案例庫內涵

本系統所採用的案例皆為淡江大學風工程研究中心層經做過的不同基本形狀房屋之氣彈力模型實驗和高頻力平衡量測 (HFFB) 結果，依據各種流場，各種形狀的分類一共有 80 餘個案例收入案例庫中，案例庫分為兩大部份，核心案例庫與輔助案例庫。核心案例庫以各種不同幾何造形的模型實驗為主，如方形、矩形、多邊形、L 形、不規則形等，輔助案例庫以方形斷面外加其他斷面變化的模型實驗為主，如削角、退縮等。

案例的屬性關係到是否能從案例庫搜尋到最相似的案例，也關係到之後案例的修正，在模型案例的屬性方面，根據設計風載重所需的資料，我們一共定義了 13 種屬性來描述一個模型案例，其中 5 個屬性有它的子屬性，各屬性之定義與詳細說明請參考上年度的研究報告與 [3]。

四、案例比對

系統在比對屬性時採用模型案例裡面的比率(Ratio)屬性下面的子屬性以及邊界層 (Boundary Layer) 與建物斷面形式 (Section) 進行比對，因為風工程研究中心中的實驗數據全得自縮尺模型，與實際建物之尺寸無法直接比對，必須要化為比率來比較才有意義，所以在來源案例與標的建

物之間比對的屬性即為高寬比、深寬比、削角比、起始退縮高比、每段退縮寬比這五個比率，外加建物斷面形式、邊界層，也就是總共七個索引。

系統中案例相似性的計算，是藉由比對來源案例(Source Case)與標的建物(Target Building)間的每個索引屬性值間的差異，計算每個索引的相似性(Sim_i)，並且根據高層建築風力載重一系列研究 [4、5、6] 所得的建議和專家的意見，給予每個索引不同的權重，由每個索引個別的相似性，藉由索引權重(W_i)，的加權平均而得到最後標的建物與來源案例間的總相似性(Overall Similarity)。

在數值索引的比對上，目前採用線性的比對方式，此種比對方式所得之相似性介於 0% ~ 100% 之間，計算方式為以來源案例索引值和標的建物索引值之比例作為索引相似性之判斷。七個索引中除建物斷面形式(Section)外，所有屬性值皆為數值形態，故採用以上所述之數值線性比對方式評估其個別相似性。建物斷面形式之屬性值為字串形式，其比對與相似性評估方式採用分類比對模式，以處理部分符合的狀況。目前所有建物斷面形式在系統中已建成階層式的分類樹狀結構，不同斷面評估其相似性時是以分類的鄰近距離為評估之標準，如完全相同的建物斷面形式，其比對結果為 100% 相似，相同子分類下之不同斷面形式間的相似性高於不同子分類下之斷面形式。

目前七個索引分為兩層，第一層的主索引為比率(Ratio)、邊界層(Boundary Layer)與建物斷面形式(Section)三個項目，其權重依據其重要性設定如下：比率權重為 4、建物斷面形式權重為 1、邊界層權重為 2。第二層索引為比率(Ratio)屬性下面的五個子屬性所構成的子索引，即高寬比、深寬比、削角比、起始退縮高比、每段退縮寬比這五個比率，其權重分別設定為 1、4、2、1 和 1。邊界層(Boundary Layer)與建物斷面形式(Section)無子索引。

比率索引的相似性(Ratio Similarity)由其五個子索引之相似性加權平均而來，來

源案例與標的建物的總相似性(Overall Similarity) 由其第一層的三個主索引之相似性加權平均而得，上述相似性計算之詳細公式請參考〔3〕。

本系統目前雖採用線性比對，以後將根據案例累積的結果作適當的改進，例如引用非線性或模糊比對函數，並配合調整各索引之權重值。

五、案例取得與修正

案例擷取模組是連結案例庫的主要模組，它會將使用者在使用者介面每個模組所輸入的資料加以整合後，轉換建物實體尺寸為各種比率(Ratio)，以便與案例庫中縮尺模型的資料相符合，如此才能使真實建物與案例庫裡面的案例相比對。將資料轉換完成後，模組會透過 CQL-Connect 這個 CGI 程式傳入 CBR-Works 裡，上節所述之比對與相似性計算方法已建構於 CBR-Works 的推理引擎之中，透過 CBR-Works 對案例庫進行搜尋，選取相似性最高的案例再傳回到案例擷取模組中，呈現在使用者面前。使用者可以檢視系統轉換後的比對索引值以及選取案例比對後的相似度，也可以更進一步的查詢選取案例的細部資訊，檢視它實驗後所得到的風力係數以及風力頻譜。當使用者比較完這個案例的各項資訊之後，可以選擇查詢其他案例，或將目前案例交付到執行程式模組之中，準備以此當做來源案例進行分析。

系統根據案例比對結果，開始進行此來源案例的修正，依照使用者所輸入標的建物的各項條件，配合所選取之來源案例的風力頻譜資料和風力係數進行修正。目前對於頻譜與風力係數的修正分為兩種類別：單一參數修正與複合參數修正。頻譜之單一參數修正，主要根據兩相似模型之風力頻譜作線性內插，求得介於兩模型間的單一修正斷面的風力頻譜。頻譜之複合參數修正以基本斷面為基礎，將參與複合修正之斷面的約化頻率與頻譜分別求得對應於基本斷面之約化頻率與頻譜無因次化修正因子，再將各參數的修正因子組合成一個複合修正因子，配合基本斷面之頻率與頻譜即可得複合修正斷面之風力頻譜。

風力係數的單一參數修正以各系列模型實驗之迴歸曲線為準，各影響參數的修正迴歸曲線請參考文獻〔5、6〕。風力係數的複合參數修正採用修正因子模式，以高寬比為 7 的風力係數為無因次化基準，每個無因次化的係數即為修正因子，再將各個修正因子組合成一個複合修正因子，配合基本斷面之係數，可求得複合修正形式之風力係數。以上所述之案例修正原理、方法與詳細公式請參考文獻〔5、6〕。

以矩形斷面的深寬比為例，進行單一參數之案例修正，風洞試驗求得若干不同深寬比的風力係數以及風力頻譜，只要標的建築物的深寬比在試驗範圍內，便可根據案例庫數據以線性（頻譜）及非線性（風力係數）的內插進行案例的修正。但若標的建築物的幾何形狀與案例庫數據有相當程度的差異，便有可能需要作複合參數的修正。譬如說，一棟基本形狀為矩形的標的建築物，其高寬比、深寬比、削角比與案例庫中數據都不相同，由於多個參數對於風力的交互影響過於複雜，目前僅有少量的風洞試驗數據可以對上述複合參數的修正模式進行驗證，並校調其中的經驗參數。現階段專家系統的運作以單一修正為主，其相似性的評估亦以此為校調之目標。

以上案例修正的模式是以淡江大學風工程中心所發展的 Fortran 程式進行計算。最後系統將修正後的結果配合繪圖軟體繪出順風向與橫風向的設計風載重。同時修正後的風力係數以及順風向與橫風向的風力頻譜亦可從系統中查詢。

六、結論與成果自評

案例式推理是很接近人類行為的推理模式，人解決問題的思考過程，常常是利用過去處理類似情況的經驗，以類比的方式解決所面臨的新問題，無論成功或是失敗，再從中汲取新的經驗，如此經驗的累積，在日後遭遇類似的問題時，便可輕易完成解題的工作，而案例式推理即沿用了如此的概念，它符合快速、彈性解決問題的理念，另外亦可有自我學習的功能，這些都是案例式推理的優點。本案專家系統就是由這個概念生成的，利用案例式推理

的技術，配合網路專家系統來解決風工程上的問題也算是一個新的嘗試。設計風載重是個一多元化的知識領域，包括結構動力和空氣動力理論、結構分析設計、規範法規與經驗公式等多方面的知識。本報告描述如何運用案例式推理的概念，發展一套以風洞實驗數據資料庫為基礎的高層建築設計風力評估模式，並將其建構成一個可在網際網路上使用的高層建築設計風載重專家系統。其目的並非要取代風洞實驗，而是在提供初步設計階段一個相對準確與有效的設計風載重評估方法，以彌補目前風力規範之不足。

本研究成功地整合專家系統與外部數值程式，更進一步讓專家系統網路化，同時也克服了網頁與網頁間，以及網頁與外部數值程式間之資料傳輸問題，可作為以後類似系統發展的建構範例。由於本專家系統是在網際網路上執行，有別於以往的專家系統只能在本機端執行，可擴大系統使用的層面，所有程式在伺服器上可集中管理與維護，同時案例亦集中累積於伺服器上，經由案例的學習與案例庫的驗證，有助於系統的快速更新與效能提升。

九十三年度計畫執行之重點為濱海地區以及鄉鎮地區的相關實驗數據與資料之擴充，並配合子計畫一之成果建構其他建築斷面之資料與知識內涵，同時發展風場修正法則與斷面修正法則。目前系統已上線運作（網址：<http://windexpert.ce.tku.edu.tw>），其具親和力的圖形化使用者介面，不只可以當作是設計工程師的風載重評估工具，也可以對風工程不是特別熟悉者提供教育與訓練的功能。

知識庫的檢驗(Verification)已完成，其知識庫、案例庫、物件、繼承性、案例式推論方案、系統整合等經測試後已能正確執行，同時效能頗佳。至於專家系統結論與建議的確認(Validation)，已完成案例的確認，但並未進行外部專家知識庫有效性之評估。

本案已達成預期的目標並有具體的成果，提供了一個有效的網際網路專家系統環境，網路的傳輸，打破時空的限制，創

造了資訊的即時即地性，讓高層建築設計風載重專家系統的使用更便利。為繼續擴展本研究團隊研究成果的使用層面，將持續發展本專家系統，已規劃一系列的多重幾何變異建物模型實驗，可擴充案例庫之案例數量，提升案例之覆蓋率進而增加系統之準確性。經由資料的採擷與分析，更有助於進一步了解多重結構形狀變化對設計風載重的影響，並將成果回饋於案例之比對和複合參數修正方法的改進。至於鄰近建物的遮蔽效應是另外一個影響建物設計風力的因素，為讓系統更臻完善，本研究團隊已從事高層建築干擾效應的相關實驗與研究，並已獲得初步的成果〔7〕，待後續資料分析與驗證工作完成，其研究成果成熟後亦將納入本專家系統中。

七、參考文獻

- [1] CBR-Works, URL: <http://www.ai-cbr.org/tools/tecinnno.html>, accessed July 2005.
- [2] WebCharts3D, URL: <http://www.webcharts3d.com>, accessed July 2005.
- [3] Wang, Jenmu, and Yuh-Yi Lin and Chii-Ming Cheng, "A Case-Based Design Wind Load Expert System for Tall Buildings," The Fourth European & African Conference on Wind Engineering, July 11~15, Prague, Czech Republic, Paper #132 (2005).
- [4] Cheng, Chii-Ming, Chung-Tai Liu and Po-Chien Lu, "A wind tunnel database for wind resistant design of tall buildings," *System-Based Vision for Strategic and Creative Design*, Second International Structural Engineering and Construction Conference, Rome, Italy, September 23-26 (2003).
- [5] 劉啟威, 「不同斷面型式之高層建築對設計風載重之風洞實驗研究」, 淡江大學土木工程研究所碩士論文 (2003)。
- [6] 陳信甫, 「紊流邊界層對高層建築設計風力的影響」, 淡江大學土木工程研究所碩士論文 (2003)。
- [7] Cheng, Chii-Ming and Yi-Chong. Lin, "Interference Effects on the Design Wind Loads of Tall Buildings," The 6th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering (APCWE VI), September 12~14, Seoul, Korea, pp. 586-598 (2005).